

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

## 子計畫九：變頻控制下馬達電源端不良電力品質之偵測與分析(2/3)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC91-2213-E-032-031-

執行期間：91 年 08 月 01 日至 92 年 07 月 31 日

執行單位：淡江大學電機工程學系(所)

計畫主持人：蕭瑛東

計畫參與人員：陳家宏與林展生

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 92 年 5 月 13 日

# 變頻控制下馬達電源端不良電力品質之偵測與 分析

## Analysis and Detection of Power Quality for Adjustable Speed Drivers

計畫編號：NSC 91-2213-E-032-031

執行期限：91 年 8 月 1 日至 92 年 7 月 31 日

主持人：蕭瑛東 淡江大學電機系

計畫參與人員：陳家宏 淡江大學電機系

計畫參與人員：林展生 淡江大學電機系

### 一、中文摘要

本計畫針對變頻控制下馬達電源端之電力品質進行偵測與分析等相關研究工作。變頻器對不良電力品質（如突波和電壓遽降）之忍受力較馬達本身微弱，但另一方面變頻器所產生的電力品質問題如諧波，可能干擾其他電器設備。本計畫將針對此種特定負載之電力品質相關問題進行量測與分析，建立電力品質數據資料庫，發展線上即時偵測系統。本第二年計畫發展虛擬電力系統目標在建立對實際系統進行電力干擾試驗的模擬環境以供研習電力品質問題，而不必進行破壞性試驗或建立實際量測儀表設備。

**關鍵詞：**電力品質，量測與偵測，虛擬環境系統，可調速驅動器，馬達

### Abstract

The objective of this project is to ~~develop~~ technique to measurements,

analysis and diagnosis on the power quality. To achieve advanced control and energy conservation, many industrial use adjustable speed drivers (ASDs) to control the speed and/or torque of electric motors. Any power transient events such as voltage sags on the motor and load can adverse effects on operating performance. In this second year, a simulated system will be setup simulate the electric power characteristic of ASDs under typical operating modes of motor and power supply disturbance mode including current to voltage as well as current, voltage and frequency to time curve. This environment designed by MATLAB/SIMULINK block diagram for modeling the typical power quality events are developed for complete system simulation.

**Keywords:** Power Quality, Measure and Diagnostic, Adjustable Speed Driver, Motor, Virtual Power System

## 二、本研究計畫之背景及目的

眾多工業或民生之設備機具要求精準的控制程序，這些作業程序大多利用馬達(Motor)來驅動，簡言之，馬達的轉矩 (Torque) 及轉速 (Speed) 將直接影響整個系統控制效能。其中感應馬達 (Induct motor) 具有結構簡單、成本低和免維護等優點已成為主要的動力來源，又因變頻器 (Converter) 的性能越來越進步且價格越來越便宜，使得工業應用上大都採用可調速驅動器 (Adjustable speed drives) 來控制馬達的轉速或轉矩。可調速驅動器主要元件為電力電子元件，而電力電子元件對電源條件較為嚴苛，任何不良的電力供應均有可能影響甚至損毀電力電子元件，如電壓驟降或突升等。因此有必要發展一套可供線上 (On-line) 快速而準確地分析 (Analysis) 和偵測 (Diagnostic) 不良電力品質事件，以避免影響馬達之操作，而導致使品不良。

變頻器屬非線性負載 (Non-linear load) 為諧波污染 (Harmonic pollution)，之主要來源，對其他電力設備或通信設備產生相當的干擾與破壞料庫，以供電力品質相容或電力品質干擾等問題之策略研究之用。

過去對電力品質事故的分析或判別，大都依賴檢視法。從檢視事故的情況或現場量測資料，而據以結論之。然而事故現場所得資訊有限，而現場量測需要長時間連續性的量測，資料量相當龐大。因此相當耗時及耗費人力，然而電力品質干擾問題有時間上之急迫性，故有必要發展一可供及時快速而正確偵測電力品質事件，並發出警訊之系統，以供操作人員採取必要之措施，避免系統受損或影響產品品質或產能。

## 三、本計畫採用之研究方法

虛擬電力干擾系統的目標在建立對實際系統進行電力干擾試驗的模擬環境以供研習電力品質問題，而不必進行破壞性試驗或建立實際量測儀表設備。虛擬

電力系統初期以可調速驅動控制馬達之系統為基本架構，並擴展至一般典型電力系統之環境。其中包括網路分析計算模組、使用者圖形化交談介面、系統元件資料庫、電力品質模式資料庫，提供電力品質分析、系統狀態計算和波形圖示等功能。

#### (A)網路分析計算模組

網路分析計算模組的功能為執行連續性運算、及時狀態顯示，使用者可藉由交談介面改變系統參數和結果可以圖形展現。基本上電力系統元件可用一組線性微分方程式表示，其一般式如下。

$$\begin{bmatrix} \dot{i} \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_1(\dot{v}, \dot{\theta}, v, \theta, u) \\ f_2(\dot{v}, \dot{\theta}, v, \theta, u) \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中  $i$ ， $v$  分別為元件之電流及端電壓， $\dot{\theta}$  為元件內部狀態變數， $u$  為獨立控制向量。式(1)表示元件之外部及內部方程式，而電流只出現於外部方程式。應用數值方法，積分(1)式，若積分時間單位為  $h$ ，則可表示如下。

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} i(t) \\ 0 \end{bmatrix} &= [A] \begin{bmatrix} v(t) \\ \theta(t) \end{bmatrix} + \frac{1}{2} \text{diag}(v(t), \theta(t)) [B] \begin{bmatrix} v(t) \\ \theta(t) \end{bmatrix} \\ &+ \frac{1}{2} [C] \text{diag}(v(t), \theta(t)) \begin{bmatrix} v(t) \\ \theta(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1(t-h) \\ b_2(t-h) \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (2)$$

其中  $A$  為系統元件關連矩陣， $b_1$ ， $b_2$  為  $B$  之元素， $b_1(t-h)$  和  $b_2(t-h)$  表  $t=0$  之前的函數，應用 KCL (Kirchof's current law)

$$\sum A^k i^k(t) = I_i \quad (3)$$

其中  $I_i$  表注入節點之電流向量， $A_{ij}^k = 1$  表元件  $k$  的  $j$  端連結節點  $i$ ，否則為 0， $i^k(t)$  而元件  $k$  的端電流可表示如下。

$$v^k(t) = (A^k)^T v(t) \quad (4)$$

將(2)和(3)代入(4)，可得

$$\begin{bmatrix} v(t) \\ \theta(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v^0(t) \\ \theta^0(t) \end{bmatrix} - \left\{ \begin{bmatrix} A \end{bmatrix} + \frac{1}{2} \text{diag} \left[ \begin{bmatrix} B \end{bmatrix} \text{diag} (v^0(t), \theta^0(t)) I \right] \right. \\ \left. + \frac{1}{2} \text{diag} (v^0(t), \theta^0(t)) \begin{bmatrix} B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C \end{bmatrix} \text{diag} (v^0(t), \theta^0(t)) \right\}^{-1} \begin{bmatrix} B_1^0 \\ B_2^0 \end{bmatrix}$$

(5)

其中  $v^0(t)$  和  $\theta^0(t)$  為前一個疊代的狀態變數值， $B_1^0$  和  $B_2^0$  表前一個疊代的失量誤差 (mismatch)， $I$  為單位矩陣。

### (B) 使用者圖形化交談介面

為使虛擬電力系統具有試驗之模擬功能，系統的參數必須可以更動，同時為使結果易於瞭解，將以圖形表格表現之。因此，設計一圖形化交談介面以供使用者與系統溝通。

### (C) 系統元件資料庫

虛擬電力系統可供使用者建立其系統（如可調速驅動控制馬達系統）進行相關之電力品質分析，因此必須建立各種常用典型的電力系統元件（如馬達和變頻器等）之資料庫。以感應馬達為例，其動態方程式為

$$\begin{bmatrix} V_{qs} \\ V_{ds} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_s + pL_s & wL_s & pL_m & wL_m \\ -wL_s & R_s + pL_s & -wL_m & pL_m \\ pL_m & (w - w_r)L_m & R_r + L_r p & (w - w_r)L_r \\ -(w - w_r) & pL_m & -(w - w_r)L_r & R_r + pL_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{qs} \\ i_{ds} \\ i_{qr} \\ i_{dr} \end{bmatrix}$$

(6)

其中  $V_{ds}$  和  $V_{qs}$  為 d 軸 q 軸的定子電壓， $i_d$  和  $i_{qs}$  為 d 軸及 q 軸的定子電流， $i_{dr}$  和  $i_{qr}$  參考到定子側 d 軸及 q 軸轉子電流， $R_s$  和  $R_r$  為參考至定子及轉子電阻， $L_s$ 、 $L_r$  和  $L_m$  為參考到定子側、定子電流、轉子電感及定子與轉子間之互感。而電磁轉矩方程式可表示如下：

$$J_m p w_r + B_m w_r + T_L = T_e = \frac{3}{2} \frac{P}{2} L_m (i_{qs} i_{dr} - i_{ds} i_{qr})$$

(7)

其中  $T_e$  和  $T_L$  為馬達產生的電磁轉矩和負載轉矩， $J_m$  和  $B_m$  為馬達的轉動慣量 (Inertia) 和摩擦係數 (Viscous frictional coefficient)， $w$  和  $w_r$  為馬達轉速及轉子的角速度， $P$  為馬達的轉速， $p$  為微分運算子 ( $p = d/dt$ )。將此一馬達電磁功率與電磁轉矩的動態方程式，建為一馬達元件模式。使用者僅需點、拖

滑鼠動作於電力系統元件資料庫之圖示方塊並連線之即可構建其系統，另雙擊滑鼠於元件圖示方塊可更改輸入元件之參數，模擬其相關特性。

#### (D)電力品質分析資料庫

將建立幾種典型的電力品質分析模式，如諧波、電壓閃爍和突波等等。

### 四、電力品質虛擬分析系統

#### (1) 電壓中斷(Interruption)

此电路是利用一開關元件(圖中的 Break1)，來控制電壓中斷的持續時間，以本例而言，是取中斷時間為 0.335~0.5 s，其中  $V_s$  代表電壓源， $Z_s$  代表系統阻抗， $XL1$ 、 $XC1$  代表線路阻抗，而 M Load 則代表負載。利用 Simulink 模擬出的電壓中斷波形，如圖 1 所示。電壓中斷 Simulink 模擬方塊圖，如圖 2 所示。

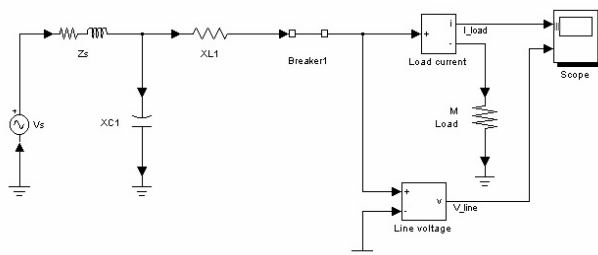


圖 1. 電壓中斷模擬電路圖

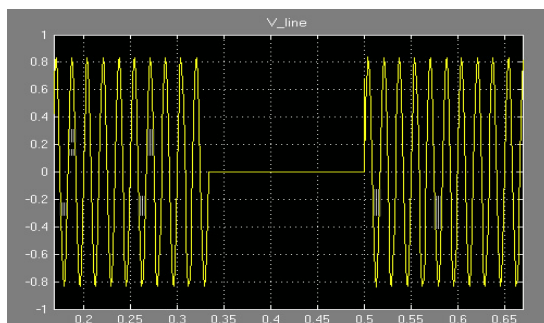


圖 2. 電壓中斷模擬波形

#### (2) 電壓突升(Swell)

此电路是利用一個開關元件(圖中的 Breaker)，來控制干擾電壓源(圖中 AC Voltage Source1)注入系統的時間，也就是電壓突升的持續時間。以本例而言，電壓突升持續的時間為 0.335~0.4s，其中 AC Voltage Source代表電壓源， $Z_s$  代表系統阻抗， $XL1$ 、 $XC1$  代表線路阻抗，AC Voltage Source1 代表干擾電壓源，而 M Load 則代表負載。利用 Simulink 模擬出的電壓突升波形，如圖 3 所示。電壓突升 Simulink 模擬方塊圖，如圖 4 所示。

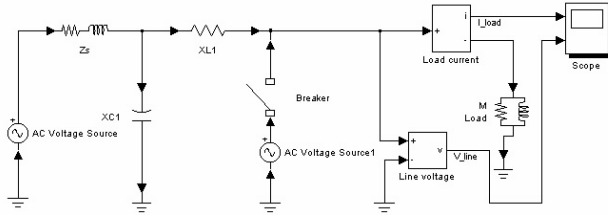


圖 3. 電壓突升模擬電路圖

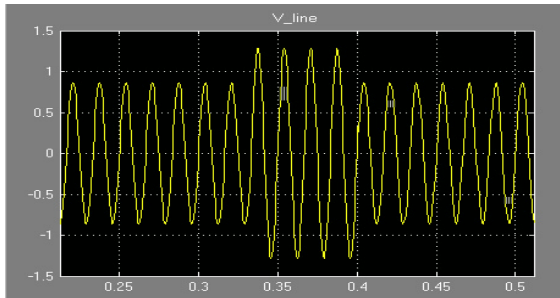


圖 4. 電壓突升模擬波形

### (3) 電壓突降(Sag)

此电路是利用一個開關元件(圖中的 Breaker)，來控制重載(圖中 XL3)切入系統的時間，也就是電壓突降的持續時間。以本例而言，電壓突降持續的時間為 0.335~0.4s，其中 AC Voltage Source 代表電壓源，Zs 代表系統阻抗，XL1、XC1 代表線路阻抗，XL3 代表系統干擾負載，而 M Load 則代表負載。利用 Simulink 模擬出的電壓突降波形，如圖 5 所示。電壓突降 Simulink 模擬方塊圖，如圖 6 所示。

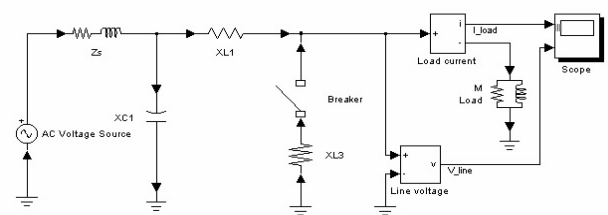


圖 5. 電壓突降模擬電路圖

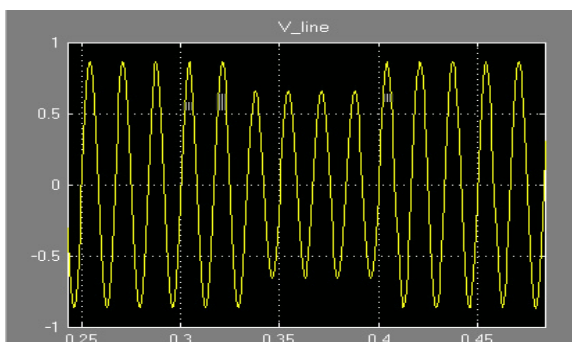


圖 6. 電壓突降模擬波形

#### (4) 諧波失真(Harmonic)

所謂諧波失真是指電壓電流中除了基本波之外，還包含其他頻率的波形成分。如圖 12，此電路是利用一些外加電流源（如圖中的 I source），來控制非基頻的電流注入系統。以本例而言，我們將 300Hz 的電流注入系統，其中 V source 代表電壓源，Z source 代表系統阻抗，Harm. Filter 代表諧波濾波器的阻抗。利用 Simulink 模擬出的諧波失真波形，如圖 7 所示。諧波失真 Simulink 模擬方塊圖，如圖 8. 所示。

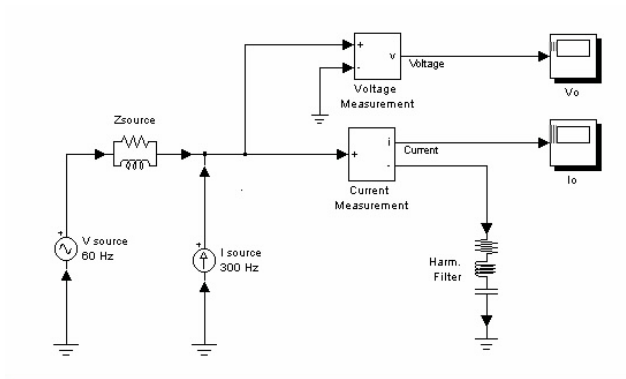


圖 7. 諧波失真模擬電路圖

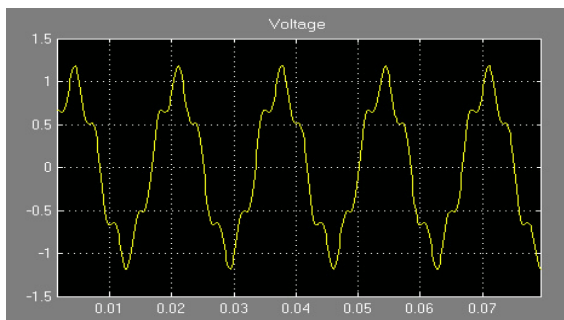


圖 8. 諧波失真模擬波形

#### (5) 電壓閃爍(Flicker)

電壓閃爍現象可以以一複合振幅調變方程式表示。如圖14，此電路是利用兩個閃爍電壓源（圖中的 AC Voltage source1 以及 AC Voltage source2），來代表閃爍電壓。以本例而言，我們將 20Hz 及 100Hz 的閃爍電壓與標準電壓(60Hz)作合成，其中 AC Voltage source代表電壓源，R 代表負載阻抗。利用 Simulink 模擬出的諧波失真波形，如圖 9 所示。電壓閃爍 Simulink 模擬方塊圖，如圖 10 所示。



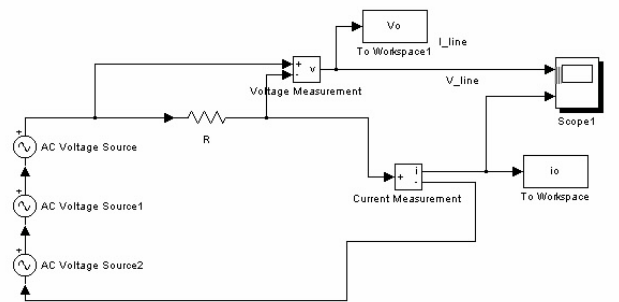


圖 9. 電壓閃爍模擬電路圖

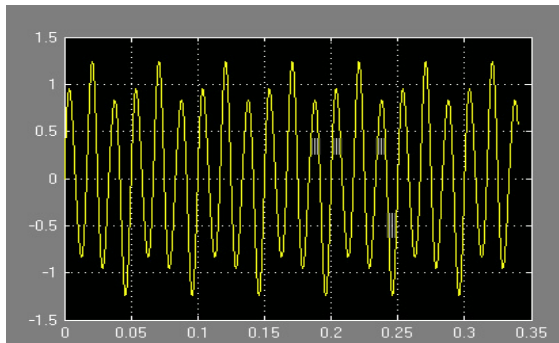


圖 10. 電壓閃爍模擬波形

## 五、計畫成果自評

本計畫本年度針對變頻控制下馬達電源端之電力品質進行偵測與分析等相關研究工作。本計畫完成之工作項目如下：

- A. 實現網路分析計算模組。
- B. 建立網路元件資料庫。
- C. 建立電力品質干擾原資料庫。
- D. 建立虛擬電力系統核心與介面。
- E. 發展使用者圖形交談介面。

建立一分析電力品質之虛擬系統，以低成本和方便使用為目標。其中包括，使用者圖形交談介面、虛擬環境介面、系統模式資料庫（如切換元件 Switching Device）和電力線等裝置或元件之模式）、電力品質模式資料庫（如諧波，電壓閃爍等之電力品質干擾源）。與預期目標相符。可提供電力品質相容與干擾等問題之分析與對策研究之用。

## 六、參考文獻

- [1]江榮城, 顏世雄, 劉志放, 吳啟瑞和王俊傑, “並聯電容量對工業饋線諧波潮流之影響”。中華民國第十四屆電力工程研討會, pp. 344~350, 中壢, 1993。
- [2]胡忠興, 吳啟瑞, 顏世雄, 陳雲武, 吳博安, 邱清泉和黃金選, “配電系統之諧波對配電主變壓器運轉的影響”, 中華民國第十七屆電力工程研討會, pp1~5, 新

竹, 1996 年。

- [3] 郭麟英, “電力諧波計畫及書審作業之 OA 化”, 台電工程月刊, 第 533 期, 民國八十二年, 一月, pp. 36-47。
- [4] 吳啟瑞、顏世雄和李尚毅, “為排除並聯共振問題的諧波濾波器設計”, 第十八屆電力工程研討會, 民國八十六年, 十一月八、九日, 台北。
- [5] 陳朝順、顏義和、何信龍, “諧波污染之配電系統的虛功補償設計”, 中華民國第十四屆電力工程研討會論文集, pp. 364-370。
- [6] 陳朝順、顏義和、陳思欽, “電力系統中之濾波器設計”, 中華民國第十四屆電力工程研討會論文集, pp. 155-160。
- [7] 洪穎怡、陳奕廷和許毓仁, “電力諧波潮流之探討”, 第十六屆電力工程研討會, 民國八十四年, 十一月二十四、二十五日, 高雄, pp. 8-12。
- [8] G. Manchur and C.Cc Erven, “Development of a Model for Predicting Flicker form Electric Arc Furances”, IEEE Trans, on power Delivery, Vol. 7, No. 1, Jan. 1992, pp. 416-426.
- [9] K. Hartana and Gill G. Richard, “Constrained Neural Network-Based Identification of Harmonic Sources”, IEEE Transactions on Industry Application, Vol.29, No.1, January/ February 1993.
- [10] R.K. Hartana, and G. G. Richard, “Harmonic Surce Monitoring and Identification Using Neural Network”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol.5, No.4, November 1990.
- [11] C.K. Duffey, and R. P. Stratfort, “Update of Harmonic standard IEEE-519: IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems,” IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 25, No. 3, pp.1025-1034, 1989.
- [12] J. Arrillaga, D. A. Bradley and P.S. Bodgé, “Power System Harmonic”, John Wiley & Sons Ltd. 1989.